



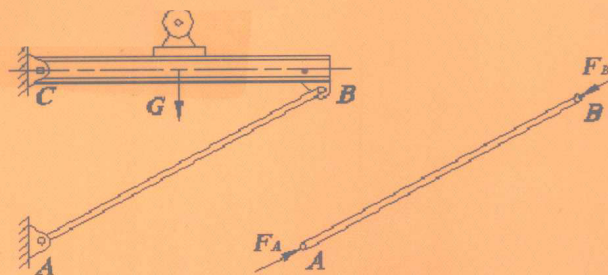
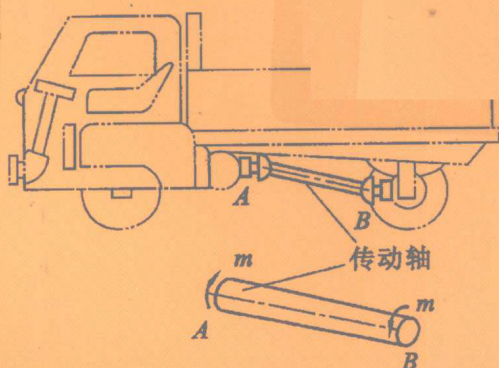
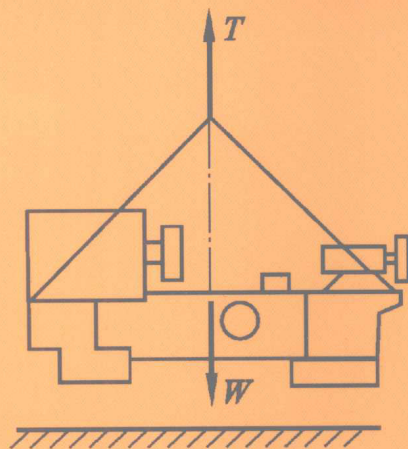
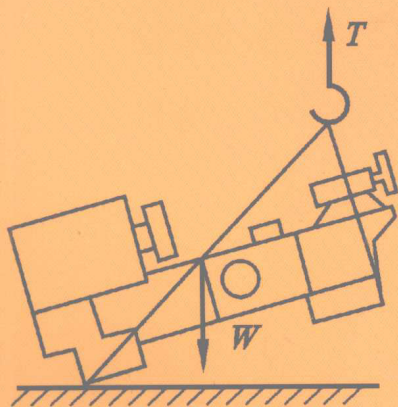
复旦卓越 · 高等教育21世纪规划教材 · 机类、近机类



工程力学

主 编 吴世平 赵 曼

Gongcheng Lixue



复旦大学出版社

www.fudanpress.com.cn

任务引领

复旦卓越·普通高等教育 21 世纪规划教材·机类、近机类

工 程 力 学

主 编 吴世平 赵 曼
副主编 隋冬杰 王益民

復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/吴世平,赵曼主编. —上海:复旦大学出版社,2010.6

(复旦卓越·高等教育21世纪规划教材·机类、近机类)

ISBN 978-7-309-07255-6

I. 工… II. ①吴…②赵… III. 工程力学-高等学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第081322号

工程力学

吴世平 赵曼 主编

出品人/贺圣遂 责任编辑/张志军

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路579号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

上海华文印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 22.25 字数 475 千

2010年6月第1版第1次印刷

ISBN 978-7-309-07255-6/T·367

定价:38.00元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本教材以明确的岗位和职业需要为依托,以能力培养为主线,以开发学生能力为目标,不片面追求学科体系的完整性,而强调贴近生产实际和工作实际,使理论和实践相结合。教材中大量插入工程实例及相关图片,增强学生的感知性和真实性,传授知识同培训技能紧密结合;精选教材内容,删繁就简,充实技术性、实用性、实践性的内容,注重定性分析,阐明物理意义和应用方法,简化某些理论、公式的推证,增强教材使用的灵活性,便于不同教学阶段、不同专业采用。理论阐述同实践指导相结合,便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线,采用以实际训练为主,把讲授、实验、实习融为一体的教学方式;适应各校功能延伸的新要求,兼顾各种职业培训对教材的需要。

前 言

本书是应复旦大学出版社图书出版的要求,根据机类和近机类高等职业技术学院各专业对工程力学知识必须、够用的原则,在对专业进行调查了解的基础上,着手编写的一本适合机械类、动力类、电力类、能源类、铁路运输类和工程管理类等工科类专业学生实际情况的《工程力学》。其内容原则上符合现行的工科各类职业院校实施的工程力学的教学大纲。本教材特别适合高等和中等职业技术学院学生,并可作为工程技术人员的参考用书。

本教材的基本思路为:从电力类、能源类、机械类、铁路运输类和工程管理类等工科类专业的实际需求出发,调整现行力学教学大纲,突出专业特色,淡化理论推导,强化能力培养。将力学理论与专业实践相结合,让力学理论更好地为主体专业服务,真正做到力学教学有的放矢,学以致用,解决工程中的力学问题,注重力学的应用能力培养。本教材注重力学知识在工程中的应用,并结合高职高专学生的实际情况,精讲多练,强化解力学问题的过程分析,提供丰富的实例图片、例题和练习题,便于学生自学,提高学生的力学应用能力,真正做到用学到的力学知识解决工程中的力学问题,为解决专业问题奠定扎实的力学基础。

本书按照工科职业技术教育课程改革的原则和思路,力求贯彻能力为本的思想;突出学生对基本知识掌握的要求,理论推导从简,注重针对性和实用性;充分吸取了各校力学课程教学改革的经验,以适应力学课程教学时数减少的现实。

本书的特色是:重点推出了主要章节的典型任务,通过典型任务的分析解决,系统地全面地回顾本章的基本内容和主要知识点,同时也提供了一种解决实际工程问题的思路。希望能够培养读者的知识迁移能力。



全体参编教师集思广益,通力合作,力求创新,较快较好地完成了编写任务。各位老师具体编写章节如下:四川电力职业技术学院副教授吴世平编写了前言、绪论、第6章、第8章及附录,中州大学工程技术学院副教授赵曼编写了第4章、第5章,河南质量工程职业学院副教授隋冬杰编写了第1章、第3章、第7章,淮南联合大学副教授王益民编写了第2章,四川电力职业技术学院朱清泉编写了第9章,中州大学工程技术学院刘继军编写了第10章。

参加该书编写工作的老师都是多年从事力学教学的教师,把多年教学的宝贵教学经验参照很多力学书籍的优秀资源,融会于本教材中,为本书增添了不少色彩,使其实用性进一步得到了提升。

限于编者水平有限,加之时间较紧,肯定有缺点和不妥之处,恳请读者批评指正,在下次再版时力争使该书更加完善。

主 编

2010年2月于成都

工程力学主要符号表

符号	量的名称	符号	量的名称
A	面积	K	应力集中系数
b	宽度	m	质量
C	形心, 重心	M_O	力系对点 O 的主矩
D	直径	$M_O(F)$	力 F 对点 O 之矩
d	力偶臂、直径、距离	M_e	外力偶矩
e	偏心距	T	扭矩
f	动摩擦因数	M	弯矩
f_s	静摩擦因素	M_x, M_y, M_z	力对 x, y, z 轴的矩
F	力	n	转速, 安全系数
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处的约束力分量	$[n_{st}]$	稳定安全因素
F_N	法向约束力	N	轴力
F_P	载荷	P	功率
F_{cr}	临界载荷	q	均布载荷集度
F_S	剪力	R, r	半径
F_R	主矢, 合力	V	体积
F_T	拉力	W_z	对 z 轴的抗弯截面系数
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的分量	W_P	抗扭截面系数
g	重力加速度	α	空心轴的内外径之比, 角
G	切变模量	β	角, 梁横截面的转角, 单位长度
h	高度, 力臂		相对扭转
I_z	对 z 轴的惯性矩	θ	角
I_P	极惯性矩	ϕ	相对扭转角
I_{xy}	惯性积	ϕ_m	摩擦角
k	弹簧刚度系数	γ	切应变



Δ	变形、位移	σ_c	压应力、挤压应力
δ	厚度、伸长率	σ_b	抗拉强度
ϵ	线应变	$[\sigma]$	许用应力
ϵ_e	弹性应变	σ_{cr}	临界应力
ϵ_p	塑性应变	σ_e	弹性极限
λ	柔度、长细比	σ_p	比例极限
ω	挠度	$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
μ	长度系数	σ_s	屈服极限
ν	泊松比	σ_r	相当应力
ρ	曲率半径	τ	切应力
σ	正应力	$[\tau]$	许用切应力
σ_t	拉应力	σ_{lim}	危险应力, 极限应力

目 录

绪论.....	1
0.1 工程力学的性质与作用 / 1	
0.2 工程力学的主要任务与主要内容 / 3	
0.3 工程力学与生产实践的关系 / 4	

第 1 篇 物体的受力分析和平衡问题

第 1 章 静力学的基本知识	9
1.1 力的基本知识和刚体的概念 / 10	
1.2 力对点之矩和合力矩定理 / 15	
1.3 力偶及其性质 / 19	
1.4 约束与约束反力 / 23	
1.5 物体的受力分析与受力图 / 29	
习题 / 35	

第 2 章 平面力系的平衡计算.....	37
2.1 平面汇交力系的合成与平衡 / 38	
2.2 平面力偶系的合成与平衡 / 46	
2.3 平面任意力系的简化及结果讨论 / 48	
2.4 平面任意力系的平衡方程及其应用 / 51	
2.5 物体系统的平衡 / 54	

2.6 考虑摩擦时的平衡问题 / 58	
习题 / 71	

第 3 章 空间力系的平衡计算..... 74

3.1 空间力系的概念与实例 / 75	
3.2 力在空间直角坐标轴上的投影 / 76	
3.3 力对轴之矩 / 78	
3.4 空间力系的平衡方程及其应用 / 81	
3.5 物体的重心与形心 / 87	
习题 / 95	

第 2 篇 杆件的变形问题

第 4 章 材料力学基本知识

4.1 材料力学的研究对象和构件的承载能力 / 101	101
4.2 变形固体的基本假设 / 102	
4.3 杆件变形的基本形式 / 103	

第 5 章 轴向拉伸与压缩

5.1 轴向拉伸与压缩的概念与实例 / 107	106
-------------------------	-----

5.2 轴向拉压杆的轴力与轴力图 / 108	8.8 梁的刚度条件及其应用 / 231
5.3 轴向拉压杆的应力 / 110	8.9 提高弯曲梁强度的措施 / 234
5.4 轴向拉压杆的强度计算 / 113	习题 / 241
5.5 轴向拉压杆的变形计算 / 116	
5.6 材料在拉伸或压缩时的力学性能 / 119	第9章 强度理论和组合变形的计算 247
5.7 应力集中的概念 / 125	9.1 一点应力状态的概念 / 248
5.8 压杆的稳定 / 126	9.2 平面应力状态的应力分析 / 250
习题 / 137	9.3 常用强度理论简介 / 260
第6章 联结件的计算 142	9.4 强度理论在工程中的简单应用 / 263
6.1 联结件的实例、剪切和挤压的概念 / 143	9.5 组合变形的概念及工程实例 / 267
6.2 联结件的实用计算 / 147	9.6 弯曲与拉伸组合变形的强度计算 / 269
6.3 切应变与剪切胡克定律 / 151	9.7 弯曲与扭转组合变形的强度计算 / 280
习题 / 156	习题 / 287
第7章 扭转圆轴的计算 158	第10章 交变应力和构件的疲劳强度简介 294
7.1 圆轴扭转的概念与实例 / 159	10.1 交变应力及疲劳破坏的概念 / 294
7.2 外力偶矩与扭矩的计算与扭矩图 / 161	10.2 交变应力的类型 / 296
7.3 圆轴扭转时的应力与强度计算 / 166	10.3 材料的持久极限 / 297
7.4 圆轴扭转时的变形与刚度计算 / 173	10.4 疲劳强度校核 / 299
7.5 圆轴扭转应用实例 / 174	
习题 / 179	附录I 平面图形的几何性质 / 302
第8章 弯曲梁的计算 182	I.1 静矩与形心 / 302
8.1 平面弯曲的概念与实例 / 183	I.2 惯性矩和极惯性矩 / 305
8.2 梁的内力——剪力与弯矩 / 187	I.3 惯性矩的平行移轴公式及组合截面惯性矩计算 / 308
8.3 剪力方程与弯矩方程、剪力图与弯矩图 / 191	附录II 常见平面图形几何性质表 / 312
8.4 纯弯曲梁的正应力计算 / 203	附录III 简单载荷作用下梁的变形 / 316
8.5 弯曲梁的正应力强度条件及强度计算 / 212	附录IV 型钢规格表 / 319
8.6 弯曲梁的切应力计算 / 219	习题答案 / 341
8.7 弯曲梁的变形计算 / 226	参考文献 / 345

绪 论

0.1 工程力学的性质与作用

0.1.1 什么是力学

力学是研究物体受到的力及受力后的运动规律和变形规律的学科。随着力学的发展和深入应用,力学形成了很多分支,例如理论力学、材料力学、结构力学、弹性力学、流体力学、土力学、塑性力学、振动理论等,但最基础和最普遍实用的还是工程力学。根据传统的学科体系分类,工程力学主要包括静力学、材料力学和运动力学3部分内容。

静力学主要研究的是物体的受力情况以及受力后的简化和平衡问题;材料力学主要研究的是杆件受力后的变形问题;运动力学主要研究的是物体的运动规律以及运动和力之间的关系。本书淡化这种分类体系,而强调工作过程中,首先是分析物体受到的力,然后是物体受力后的合成及是否平衡的问题,最后是物体受力后的正常工作问题(变形问题)。

力是普遍存在的,世界上的任何物体都会受到力的作用,这种作用必然会使物体发生运动状态的改变或使物体产生变形。机械运动是物质运动的最基本的形式,所谓机械运动就是指物质在时间、空间中的位置变化,包括移动、转动、流动、变形、振动、波动、扩散等。而平衡(或静止),则是其中的特殊情况。物质运动的其他形式还有热运动、电磁运动、原子及其内部的运动和化学运动等,所有这些运动都是因为力的作用而产生的。

力是物体间的一种相互的机械作用。静止和运动状态不变,则是各作用力在某种意义上的平衡。因此,力学是研究物质机械运动规律的科学。力学所阐述的物质机械运动的规律,与数学、物理等学科一样,是自然科学中的普遍规律。因此,力学是基础学科。同时,力学研究所揭示出的物质机械运动的规律,在许多工程技术领域中可以直接获得应用,实际面对着工程,服务于工程。所以,力学又是技术性、应用性学科。

工程力学是将力学原理应用于有实际意义的工程系统的科学。其目的是:了解工程系



统的性态并为其设计提供合理的理论依据。机械、机构、结构如何受力、如何运动、如何变形、如何破坏,都是工程技术人员需要了解的工程系统的形态;只有认识了这些形态,才能够合理的设计规则、规范、手册,使机械、机构、结构等按设计要求实现运动、承受载荷,控制它们不发生影响使用功能的变形,更不能发生破坏。

力学和工程学的结合,促使了工程力学各个分支的形成和发展。现在,无论是土木工程、建筑工程、水利工程、机械工程、船舶工程等,还是航空工程、航天工程、核技术工程、生物医学工程等,都是力学的应用领域。

0.1.2 力学的发展简史

力学知识最早起源于对自然现象的观察和在生产劳动中的经验。人们在建筑、灌溉等劳动中使用杠杆、斜面、汲水等器具,逐渐积累了对平衡、物体受力情况的认识。古人还从对日、月运行的观察和弓箭、车轮等的使用中,了解了一些简单的运动规律,如匀速的移动和转动等。

中国春秋时期(公元前 4—前 3 世纪),墨翟及其弟子的著作《墨经》中,就有关于力的概念、杠杆平衡、重心、浮力、强度和刚度的叙述。古希腊哲学家亚里士多德(Aristotle,公元前 384—前 322 年)的著作也有关于杠杆和运动的见解。古希腊科学家阿基米德(Archimedes,公元前 287—前 212 年)对杠杆平衡、物体重心位置、物体在水中受到的浮力等作了系统研究,确定它们的基本规律,初步奠定了静力学即平衡理论的基础。意大利物理学家和天文学家伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642 年)在实验研究和理论分析的基础上,最早阐明自由落体运动的规律,提出加速度的概念。牛顿继承和发展前人的研究成果(特别是开普勒的行星运动三定律),提出物体运动三定律。伽利略、牛顿奠定了动力学的基础。牛顿运动定律的建立标志着力学开始成为一门科学。

力学不仅有着悠久而辉煌的历史,而且随着工程技术的进步,近几十年来也在迅速发展。力学研究的对象、涉及的领域、研究的手段都发生了深刻的变化,力学用来解决工程实际问题的能力得到极大的提高。例如,由传统的金属材料、土木石等材料的力学作用效果的研究,扩大到新型复合材料、高分子材料、结构陶瓷、功能材料等的研究;由传统的连续体宏观力学行为的研究,发展到含缺陷体力学,细、微观(甚至纳观)力学行为的研究;由传统的电、光测实验技术研究,发展到全息、云纹、散斑、超声、光纤测量等力学实验技术;由传统的静强度、刚度设计,发展到断裂控制设计、抗疲劳设计、损伤容限设计、结构优化设计、动力响应计算、监测与控制、计算机数值仿真、耐久性设计和可靠性设计等。

机械、结构的小型、轻量化设计和电子工业产品的小型、超大规模集成化趋势,使力学应用的领域从传统的机械、土木、航空航天等扩大到包括控制、微电子和生物医学工程等几乎所有工程技术领域。计算机技术和计算力学的发展,给力学带来了更加蓬勃的生机,力学与工程结合、为工程服务的能力得到了极大的增强。计算机不仅成为辅助工程设计的有力工具,同时也是力学分析、计算、动态过程仿真的工具。力学在工程中应用的目的,除传统的保证结构与构件的安全和功能外,已经或正在向设计→制造→使用→维护的综合性分析与控



制,功能→安全→经济的综合性评价,以及自感知、自激励、自适应(甚至自诊断、自修复)的智能结构设计与分析的方向延伸。

0.1.3 工程力学的性质和作用

工程力学是机械、电力、土木建筑、能源、航空航天、石油化工、交通运输等专业的一门重要技术基础课或专业基础课,其前导课程主要有《高等数学》和《机械制图》。工程力学为简单构件的强度、刚度和稳定性计算提供基本的力学理论和计算方法,为进一步学习相关的专业课打下必要的基础,因此它在基础课与专业课之间起桥梁作用。同时工程力学能直接解决工程实际问题或为解决工程问题提供理论依据。学习本门课程的关键是重点理解公理、定理及假设的内容,在此基础上,利用数学演绎、抽象化方法得出简单物体或物体系统的平衡、杆件受力后变形及破坏的规律,并深刻理解基本概念、基本理论、基本方法;同时还需要通过演算一定数量的习题来加深和巩固对所学知识的理解和掌握。

对于工科类学生,要求在学完本门课程之后,具有将简单的工程实际问题抽象为力学模型的初步能力;能够运用基础知识,尤其是数学、物理的基本理论和方法,并结合本门课程所讲述的内容,对简单物体进行受力分析;能够正确运用强度、刚度和稳定条件对简单受力杆件进行校核、截面选择和材料选择;具有应用计算机和现代实验技术手段解决与力学有关的工程问题的基本能力。

0.2 工程力学的主要任务与主要内容

0.2.1 工程力学的主要内容

工程力学是研究物体机械运动一般规律以及构件承受载荷能力的一门学科。

土木、建筑等工程中的梁、板、柱等,水利、机械、船舶、电力等工程中的结构元件、机器零部件等都可称为构件。构件在承受载荷或传递运动时,能够正常工作而不破坏,也不发生过大的变形,并能保持原有的平衡形态而不丧失稳定,这就要求构件具有足够的强度、刚度和稳定性。

工程力学的主要内容就是:对实际工程中的物体进行合理的简化,得到力学计算模型(计算简图),分析其受力情况(受力图),研究受力后的平衡规律,研究受力后的内力、应力、变形等,建立强度、刚度、稳定性条件,以此为基础进一步研究杆件的安全经济工作问题。

0.2.2 工程力学的研究方法

工程力学研究解决问题的一般方法可归纳为:

- (1) 选择有关的研究对象。
- (2) 对研究对象进行抽象简化,抓住主要因素,忽略次要因素,将研究对象转化为力学

模型。其中包括几何形状、材料性能、载荷及约束等真实情况的理想化和合理性简化。力学模型要尽量符合实际的同时力求计算简便。

(3) 将力学原理应用于理想模型,进行分析、推理,得出结论。

(4) 进行尽可能真实的实验验证或将问题退化至简单情况与已知结论相比较。

(5) 验证比较后,若得出的结论不能满意,则需要重新考虑关于对象特性的假设,建立不同的模型,进行分析,以期取得进展。

例如,一个工程师,首先要按照设计要求提出一个设计,然后假定其形态,建立模型,进行分析。如果分析的结果不能满足预期的功能,则必须修改设计,再次分析,直到获得可用的结果。可用性不仅包括有满意的功能,而且也包括如经济、轻量化、易于制造等因素。还可能要考虑环境等因素。

上述方法中,力学模型的建立是最关键的。一个好的力学模型,既能使问题求解过程简化,又能使结果基本符合实际情况,满足所要求的精度。力学模型的建立,不仅需要实际情况的充分了解及分析问题的能力,还与知识面和经验有关。对由模型推出的结果进行实验验证或比较,有利于不断积累建立模型的经验。

例如,在处理普通工程构件(如杆、梁、轴等)时,可以先将其理想化为刚体,研究作用于其上的力,达到一定的认识水平;进一步将其视为变形体,并假定其变形是弹性(卸载后变形能完全恢复)的,研究在载荷作用下,构件的弹性变形情况,又达到了另一认识水平;如果再引入材料的塑性(卸载后变形不能恢复)性态,研究其弹-塑性行为,就会得到更进一步的启发。

0.3 工程力学与生产实践的关系

力学和工程学的结合,促使了工程力学各个分支的形成和发展。现在,无论是历史较久的土木工程、建筑工程、水利工程、机械工程、船舶工程等,还是后起的航空工程、航天工程、核技术工程、生物医学工程等,工程力学都有很广泛的应用。20世纪由于力学的发展得以实现的工程技术中,有标志性成就的有:可将人类送入太空的航天技术、时速达 300 km/h 的高速磁悬浮列车、单跨近 2 000 m 的大桥、有抗震性能的超高层建筑、巨型水利枢纽(长江三峡工程)等。

2000 年下半年,美国的三十几个专业工程协会评出了 20 世纪对人类影响最大的 20 项技术,力学在其中多项技术的发展中起着重要的、甚至是关键的作用。

排在第一位的是电力系统技术,目前几乎所有输入电网的电力都是通过叶轮机带动发电机产生的。而叶轮机、发电机以及输电线路的设计、制造和施工过程都离不开力学。20 世纪后 50 年,由于力学的发展,叶轮机的设计得以改进,其效率提高约 1/3,这相当于每年节省电费达 3 000 亿美元。这里尚未计入力学对锅炉燃烧过程效率提高的贡献。

排在第二位的是汽车制造技术,它同样离不开力学的支持。半个世纪以来,力学的发展



使汽车发动机的效率提高了约 $1/3$ 。仅以小轿车为例,全世界每年节省燃料费约 2 000 亿美元,而排气的污染却减少了 90% 以上。这里也并没有计及汽车结构轻量化所带来的效益。

排在第三位的航空技术和第十一位的航天技术,它们与力学的关系更加密切。1903 年莱特兄弟飞行成功,飞机很快成为重要的战争和交通工具。1957 年,人造地球卫星发射成功,标志着航天事业的开端。力学解决了各种飞行器的空气动力学性能问题、推进器动力学问题、飞行稳定性和操纵性问题及结构和材料的强度等问题。超声速飞行、航天器返回地面等关键问题,都是基于力学研究才得以解决的。

21 世纪,纳米科技已成为科技界最具活力与前景的重大研究领域之一。由于力学内在的特质及其所研究问题的普遍性,加上力学工作者的敏感,现代力学的最新分支——纳米力学迅速形成,成为与物理、化学、生物、材料科学等进行交叉研究的新学科而得到蓬勃发展。

可以预言,在未来的科技发展中,工程力学仍将展示出永恒与旺盛的生命力并发挥出巨大的影响。

物体的受力分析和平衡问题

1 【第一篇】

工程力学

- 第1章 静力学的基本知识
- 第2章 平面力系的平衡计算
- 第3章 空间力系的平衡计算